



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**  
①⑩ **DE 43 10 894 A 1**

⑥① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 N 27/90**

②① Aktenzeichen: P 43 10 894.6  
②② Anmeldetag: 2. 4. 93  
④③ Offenlegungstag: 6. 10. 94

DE 43 10 894 A 1

⑦① Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Dobler, Klaus, Dr.-Ing. Dr., 7016 Gerlingen, DE;  
Hachtel, Hansjoerg, Dipl.-Ing. (FH), 7251 Weissach,  
DE; Rehbein, Peter, 7250 Leonberg, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

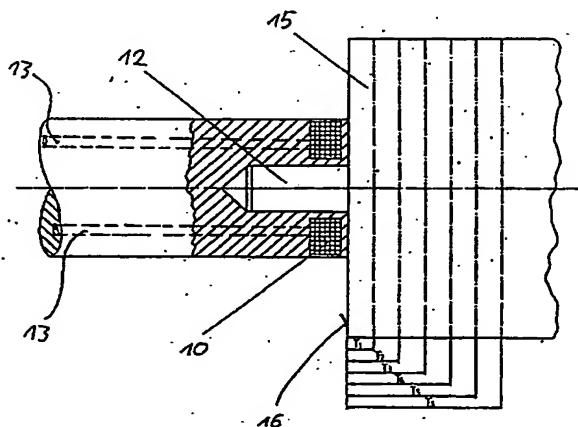
DE	40 39 426 A1
DE	28 17 574 A1
DE	27 39 873 A1
US	46 46 013
EP	01 52 904 A2
SU	11 77 736

⑤④ Verfahren und Prüfsonde zum zerstörungsfreien Untersuchen von Oberflächen elektrisch leitfähiger Werkstoffe

⑤⑦ Vorgeslagen werden ein Verfahren sowie eine Prüfsonde zum Untersuchen von Oberflächen elektrisch leitfähiger Werkstoffe mittels einer Prüfspule, die ein magnetisches Wechselfeld erzeugt, dem der zu untersuchende Werkstoff ausgesetzt ist. Das Verfahren weist erfindungsgemäß folgende Schritte auf:

- Einstellen einer Spulenwechselstromfrequenz, bei der die Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes in den zu untersuchenden Werkstoff (15) innerhalb einer geforderten Dicke der behandelten Oberflächenschicht (17, 18) liegt,
- Messen der Induktivitätsänderung, die das sich einstellende magnetische Wechselfeld in der Spule (10) hervorruft,
- Ableiten einer Aussage über wenigstens eine Materialeigenschaft der untersuchten Oberfläche (16, 17, 18) im Bereich der Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes aus dem Meßergebnis.

Zweckmäßig wird das vorgeschlagene Verfahren für mehrere Frequenzen durchgeführt, die so gewählt sind, daß die Eindringtiefen der Magnetfelder in den zu untersuchenden Werkstoff (15) in äquidistanten Schritten zunehmen.



BEST AVAILABLE COPY

DE 43 10 894 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 94 408 040/368

9/33

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren und einem Sensor nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche 1 und 11. Es wurde bereits in mehreren Veröffentlichungen vorgeschlagen, zerstörungsfreie Prüfungen von Werkstoffen mit Hilfe des Wirbelstromverfahrens vorzunehmen. Eine Einführung in das Verfahren sowie mögliche Prüfspulenbauarten finden sich zum Beispiel in dem Buch von Heptner und Stroppe, "Werkstoffprüfung", Seiten 129 bis 141. Danach eignet sich das Wirbelstromverfahren u. a. zur Prüfung der mechanischen Härte eines Werkstoffes sowie der Dicke von insbesondere dünnen metallischen Schichten. Geeignete Spulenbauarten sind zum Beispiel eine Tastspule, welche auf der Werkstückoberfläche aufgesetzt wird, oder eine Innenspule, welche zum Beispiel zur Prüfung sehr dickwandiger Rohre oder Bohrungen dient.

Aus der Zeitschrift "HTM", Nr. 4 1986, Seiten 213 bis 218, ist der Vorschlag bekannt, ein Wirbelstrommeßverfahren zur Bestimmung der Überlagerungspermeabilität zu verwenden. Über die aus dieser ableitbare Koerzitiv-Feldstärke wird eine Aussage über die Tiefe der wärmebeeinflussten Schicht erhalten. Der Meßaufbau besteht im wesentlichen aus einer Spule sowie einem getrennt von der Spule angeordneten Aufnehmer. Obgleich mit dieser Meßanordnung bereits eine Reihe guter Prüfaussagen möglich ist, insbesondere bezüglich Härte und Dicke der Oberflächenschicht, sind doch der Meßaufbau und die Verfahrensdurchführung vergleichsweise kompliziert.

Eine weitere Anwendung des Wirbelstrommeßverfahrens zum zerstörungsfreien Messen der Verbindungsschichtdicke salzbadnitrierter Proben ist aus der "Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung", 1978, Heft 2, Seiten 89 bis 94, bekannt. Dabei erfolgt die Schichtdickenbestimmung bei fester Frequenz der Prüfspulenwechselspannung anhand der für das zu prüfende Material gemessenen Impedanz. Als Meßsonde dient eine Spule. Aussagen über die Härte der geprüften Schicht liefert dieses Verfahren nicht. Auch ist es für Frequenzen kleiner als 3 MHz wegen des dann stärker werdenden Einflusses von Permeabilitätsschwankungen des Grundwerkstoffes nur bedingt geeignet.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, welches mittels eines einfach aufgebauten Sensors schnell und hinreichend zuverlässige Aussagen über Härte, Dicke, und Gefügestand der Oberfläche eines elektrisch leitfähigen Werkstoffes liefert. Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren und eine Anordnung mit den Merkmalen der Ansprüche 1 beziehungsweise 11. Das erfindungsgemäße Verfahren liefert in einfacher Weise durch Messen der Spuleninduktivität eine Aussage über Härte, Dicke und/oder Gefügestand der untersuchten Oberflächenschicht. Dabei wird von dem an sich bekannten Zusammenhang zwischen der Eindringtiefe des von der Spule erzeugten magnetischen Wechselfeldes, der Spuleninduktivität und der Härte, beziehungsweise des Gefügestandes Gebrauch gemacht. In der einfachsten Verfahrensvariante wird die Frequenz des Spulenwechselstroms so gewählt, daß die daraus resultierende Eindringtiefe des von der Spule erzeugten magnetischen Wechselfeldes in den zu untersuchenden Werkstoff innerhalb einer geforderten Gesamtdicke der untersuchten Oberflächenschicht liegt.

Zweckmäßig erfolgt die Frequenzwahl dabei so, daß die Eindringtiefe des Wechselfeldes entweder klein gegen die geforderte Gesamtdicke der behandelten Oberflächenschicht ist, oder dieser etwa entspricht. Aus der sich einstellenden Induktivität der Spule kann je nach Vorbehandlung des untersuchten Werkstoffes auf die Härte — zum Beispiel bei geschliffenen Nitrierschichten, die Gefügesteigenschaften — zum Beispiel bei noch unbehandelten Nitrierschichten, und/oder auf die Oberflächenrauigkeit geschlossen werden. Ferner ist es möglich festzustellen, ob die geprüfte Oberfläche nachgeschliffen wurde, oder eine Aussage über die Gesamtqualität einer gehärteten Oberflächenschicht über den untersuchten Dickenbereich abzuleiten.

Vorteilhaft ist es, eine Messung bei einer Frequenz mit einer gegen eine geforderte Dicke kleinen Eindringtiefe und eine Messung einer Frequenz mit einer etwa der geforderten Dicke der untersuchten Oberflächenschicht entsprechenden Eindringtiefe zu einem zweistufigen Verfahren zusammenzufassen, innerhalb dessen sie nacheinander ausgeführt werden. Ein solches zweistufiges Verfahren liefert durch die bei hoher Frequenz erfolgende Messung sowohl eine Aussage über eine dünne, die tatsächliche Oberfläche bildende Schicht, als auch durch die bei niedrigerer Frequenz erfolgende Messung eine Aussage über die Schicht unmittelbar unterhalb der Oberfläche. Damit wird insbesondere das Problem überwunden, daß einerseits eine nur hochfrequente Messung zu einer falschen Einschätzung der Substanz der untersuchten Schicht führen kann, andererseits eine nur niederfrequente Messung keine Aussage über die Verhältnisse an der eigentlichen Oberfläche liefert.

Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, innerhalb eines Prüfvorgangs die Frequenz des Spulenwechselfeldes schrittweise von einem kleinsten zu einem größten Wert zu erhöhen, und dabei jedesmal die Induktivität zu messen. Aus den erhaltenen Meßwerten läßt sich, da jeder vorgegebenen Spulenfrequenz eine zugeordnete Eindringtiefe entspricht, für den untersuchten Werkstoff ein charakteristisches Härteprofil, das graphisch als Härteprofilkurve darstellbar ist, ableiten. Aus einer Härteprofilkurve können in einfacher Weise die Dicke sowie bei einigen Materialien, insbesondere bei nitrierten Metallen, Aussagen über den Gefügestand der untersuchten Oberflächenschicht abgeleitet werden.

Das Verfahren eignet sich besonders zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit nitrierter Metalle. Bei Nitrierschichten kann gegebenenfalls die Dicke einer vorhandenen Verbindungsschicht bestimmt werden. Zur Verifizierung eventuell beobachteter Schichtstrukturen werden zweckmäßig begleitende Plausibilitätsbetrachtungen vorgenommen. Dies empfiehlt sich besonders für im Vergleich zur Gesamtdicke der untersuchten Oberflächenschicht dünne Teilschichten, insbesondere für Verbindungsschichten bei nitrierten Metallen. Liegt ein mehrschichtiger Gefügestand vor, ist es ferner sinnvoll, die Härteprofilkurve entsprechend dem Einfluß der unterschiedlichen Oberflächenschichten auf das Meßergebnis nachträglich zu korrigieren, um ihre Aussagekraft zu erhöhen.

Zweckmäßig erfolgen Messungssteuerung und Auswertung der gewonnenen Meßergebnisse mit Hilfe eines Computers. Prüfen auf Vorhandensein einer Verbindungsschicht kann dazu dienen, festzustellen, ob die geprüfte Oberfläche nachgeschliffen wurde.

Sollen Einflüsse, die von Änderungen der Legierungs-

elemente oder der Legierungsanteile der untersuchten Oberfläche herrühren, möglichst klein gehalten werden, ist es zweckmäßig, eine Bezugsmessung mittels einer Referenzspule vorzusehen. Als Meßsignal wird zum Beispiel das Differenzsignal der Prüfspule und der Referenzspule verwendet, wobei die Referenzspule die Induktivität eines nichtbehandelten Grundmaterials erfaßt.

Zur weiteren Verbesserung der Genauigkeit kann es von Vorteil sein, eine Bezugsmessung derart durchzuführen, daß jeweils vor und nach der Wärmebehandlung eine Messung an Prüf- und Referenzmaterial vorgenommen wird.

Die zur Durchführung des Verfahrens eingesetzte Prüfspule ist zweckmäßig eine an der Spitze eines Spulenträgers angeordnete Spule. Die Aufnehmerwicklung ist der Meßobjektform beziehungsweise Aufgabe angepaßt. Sinnvoll wird die Größe der verwendeten Spule daran orientiert, ob eine Aussage über die durchschnittliche Härte einer größeren Fläche des Prüfobjektes bereits ausreicht, oder ob eine detaillierte Rasterung der Prüfoberfläche erforderlich ist.

Von Vorteil kann es in einigen Anwendungen sein, beispielsweise bei Innenmessungen in Bohrungen, die Aufnehmerwicklung mit Abdeckungen zu versehen, und die Messung der zu untersuchenden Oberfläche nur über den nichtabgedeckten Teil der Prüfspule durchzuführen.

Ein im Spulenzentrum angeordneter Ferritkern erhöht in vorteilhafter Weise den Meßeffect der Prüfspule.

Das vorgeschlagene Verfahren ist insbesondere geeignet zur Prüfung von nitrierten metallischen Werkstoffen.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der vorgeschlagenen Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert.

#### Zeichnung

Es zeigen

Fig. 1 einen Schnitt durch eine auf einen zu untersuchenden Werkstoff aufgesetzte Prüfspule, Fig. 2 eine Härteprofilkurve für einen Werkstoff ohne Verbindungsschicht, Fig. 3 einen Schnitt durch eine spezielle Ausgestaltung einer Prüfspule mit einem zugehörigen Prüfkörper, Fig. 4 mögliche Schichtstrukturen eines zu untersuchenden Werkstoffs, Fig. 5 eine Härteprofilkurve für einen Werkstoff mit einer Verbindungsschicht.

#### Beschreibung

Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer zur Durchführung des vorgeschlagenen Verfahrens benötigten Prüfspule. Sie besteht im wesentlichen aus einem Spulenträger 11, an dessen Spitze eine Sensorspule 10 angeordnet ist. Ihre Enden sind über Zuleitungen 13 mit einer nicht dargestellten Wechselspannungsgeneratoranordnung verbunden. Die Zuleitungen 13 können in (einer) Bohrung(en) innerhalb des Spulenträgers 11 geführt sein. Im Zentrum der Sensorspule 10 kann ein Ferritkern 12 vorgesehen sein. Die Oberfläche der Prüfspule ist an die Oberfläche 16 des zu untersuchenden Werkstoffes 15 angepaßt. Im Beispiel Fig. 1 weist der Werkstoff 15 eine ebene Oberfläche 16 auf, entsprechend ist auch die Oberfläche der Prüfspule plan ausgeführt.

Eine mögliche Ausführung der Prüfspule für einen Düsenkörper mit einem Ventil an seiner Spitze zeigt Fig. 3. In diesem Fall ist die zu prüfende Oberfläche 16

der kegelförmig ausgeführte Ventilsitz am Ende einer in den zu untersuchenden Werkstoff eingebrachten Bohrung. Entsprechend ist die Spitze der Prüfspule mit der Sensorspule 10 ebenfalls kegelförmig ausgeführt. Zweckmäßig erfolgt bei zur Prüfung von Innenoberflächen bestimmten Ausführungen der Prüfspule die Führung der Sensorspulenleitungen 13 stets innerhalb des Spulenträgers 11 in Bohrungen, wie in den Fig. 3 beziehungsweise 1 gezeigt, oder in am Umfang des Kerns angebrachten Nuten.

Für den Prüfvorgang wird die Prüfspule schlüssig und fest auf die zu untersuchende Oberfläche 16 aufgesetzt. Ist diese Oberfläche 16 eine Innenoberfläche wie in Fig. 3, die einen Düsenkörper mit einem Ventil an seiner Spitze darstellt, wird die Prüfspule so weit in den Düsenkörper eingeschoben, bis sie möglichst eng auf dem Ventilsitz anliegt. An die Spule 10 wird in für das Induktiv- beziehungsweise Wirbelstromverfahren bekannter Weise ein hochfrequenter Wechselstrom zur Erzeugung eines magnetischen Wechselfeldes in der Spule 10 angelegt. In Abhängigkeit von der Frequenz des Wechselstroms sowie von den elektrischen und magnetischen Eigenschaften des untersuchten Werkstoffes dringt das magnetische Wechselfeld in den zu untersuchenden Werkstoff ein. Dabei beeinflußt seinerseits der untersuchte Werkstoff das magnetische Wechselfeld entsprechend der Eindringtiefe und seinen elektrischen beziehungsweise magnetischen Eigenschaften. Es stellt sich ein charakteristisches Magnetwechselfeld ein, welches meßbar ist. Als Meßgröße dient die Spuleninduktivität und/oder der Wechselstromwiderstandswert der Aufnehmerwicklung, welche mit einer bekannten Auswertelektronik erfaßt werden kann.

Es wird zunächst davon ausgegangen, daß die Oberfläche des zu untersuchenden Werkstoffes 15 eine Gefügestruktur mit über die gesamte Dicke zumindest ähnlichen physikalischen Eigenschaften aufweist, wie in Fig. 4a gezeigt. Gegeben ist diese Situation zum Beispiel bei nitriertem Metall, bei dem durch Schleifen auf etwa 30 bis 50 µm die Verbindungsschicht abgetragen wurde, das deshalb, wie in Fig. 4a gezeigt, auf der metallischen Grundlage 19 nur eine Oberflächenschicht 17 in Form einer Diffusionsschicht aufweist.

Zur Untersuchung des Werkstoffes 15 unmittelbar an der Oberfläche 16 wird die Frequenz des Spulenwechselstroms so eingestellt, daß die Eindringtiefe des hervorgerufenen magnetischen Wechselfeldes klein ist gegen die Gesamtdicke der zu untersuchenden Oberflächenschicht 17. Der genaue Frequenzwert wird entweder in bekannter Weise berechnet oder experimentell in Referenzmessungen ermittelt. Für die Frequenzfestlegung wird angenommen, daß der untersuchte Werkstoff die geforderte Materialzusammensetzung auch tatsächlich aufweist. Kleine Schwankungen der Materialzusammensetzung beeinflussen das Meßergebnis in der Regel nicht wesentlich und können hingenommen werden. In einer Musteranordnung zur Prüfung der nitrierten Oberfläche eines Ventils, wie in Fig. 3 dargestellt, auf einer Dicke von 6 µm wurde eine Spulenwechselstromfrequenz von etwa 3 MHz gewählt.

Das für die Spuleninduktivität erhaltene Meßsignal entspricht mit guter Genauigkeit der mittleren Härte der untersuchten Oberflächenschicht 17 bis zu der durch die Frequenz festgelegten Eindringtiefe. Durch einfache Zuordnung zu einem durch Rechnung ermittelten oder experimentell vorherbestimmten und in geeigneter Form gespeicherten Wert wird das Induktivitätsmeßsignal in einen Härtewert für die geprüfte Schicht über-

führt. Dabei sind der theoretisch-physikalische Zusammenhang zwischen beiden Größen, sowie das mathematische beziehungsweise experimentelle Vorgehen, die eine aus der anderen zu bestimmen, einem auf diesem Gebiet zuständigen Fachmann bekannt, siehe hierzu auch die in der Einleitung genannten Schriften.

Eine einfache Variation des vorstehend beschriebenen Verfahrens besteht darin, die Frequenz des Spulenwechselstroms so einzustellen, daß die Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes in den zu untersuchenden Werkstoff im Bereich einer für die behandelte Oberflächenschicht geforderten Mindestdicke liegt, die typischerweise einige 100 µm beträgt. In einer Musteranordnung zur Prüfung einer nitrierten Oberfläche eines Ventils, wie in Fig. 3 dargestellt, darauf, ob die Dicke einer wärmebehandelten Oberfläche mindestens 200 µm beträgt, wurde eine Frequenz von etwa 3 kHz eingestellt. Das Ergebnis einer solchen Messung bei vergleichsweise niedriger Frequenz gestattet zum Beispiel eine Aussage über die Abriebfestigkeit der geprüften Schicht.

Vorteilhaft ist es, eine Messung mit höherer Frequenz, entsprechend einer geringeren Eindringtiefe, mit einer Messung bei tieferer Frequenz, entsprechend einer größeren Eindringtiefe, verfahrensmäßig zusammenzufassen und jeweils nacheinander auszuführen. Dabei liefert die Messung bei höherer Frequenz eine Aussage über die Härte unmittelbar an der Oberfläche 16, die Messung bei niedriger Frequenz zum Beispiel eine Aussage über zulässige Abriebverluste der geprüften Schicht. Eine solche Kombination von Meßschritten gestattet es, Werkstoffe im Hinblick auf ihre Verwendbarkeit wesentlich sicherer zu beurteilen, als dies mit nur einer Messung bei einer Frequenz möglich ist. Beispielsweise können Meßobjekte beanstandet werden, deren Oberflächen zwar eine geforderte Härte aufweisen, die aber nicht ausreichend dick sind, um zu erwartenden Abriebverlusten standzuhalten. Ebenso kann ein Meßobjekt beanstandet werden, bei dem die Dicke der behandelten Oberflächenschicht zwar ausreichend ist, dessen Oberfläche aber eine geforderte Härte nicht erreicht.

In einer weiteren Ausgestaltung des Prüfungsverfahrens wird die Frequenz des Spulenwechselstroms stufenweise so geändert, daß das magnetische Wechselfeld bei der ersten Frequenz, wie in Fig. 1 gezeigt, bis zur Eindringtiefe  $T_1$ , bei der zweiten Frequenz bis zu Eindringtiefe  $T_2$ , bei der dritten Frequenz bis zur Eindringtiefe  $T_3$  usw. in den zu untersuchenden Werkstoff 15 eindringt. Dabei ist zu beachten, daß, um eine äquidistante Zunahme der Eindringtiefen beim Übergang von einer Frequenz zur nächsten zu erreichen, wie in Fig. 1 dargestellt, die zugehörigen Frequenzen nichtlinear geändert werden müssen. So entsprach bei einer Musteranordnung zur Untersuchung einer Nitrierschicht eine Frequenz von 2,5 MHz einer Eindringtiefe von 7 µm, eine Frequenz von 600 kHz einer Eindringtiefe von 14 µm, eine Frequenz von 150 kHz einer Eindringtiefe von 28 µm. Zu jeder Frequenz wird wiederum die sich einstellende Induktivität der Spule 10 gemessen und in jeweils die mittlere Härte bis zur gemessenen Eindringtiefe bezeichnende Härtewerte umgerechnet. Fig. 2 zeigt eine Folge von auf diese Weise gewonnenen Härtewerten HW, die hier nach Fischer in N/mm angegeben sind, in Form einer Folge von Balken über der in µm angegebenen Eindringtiefe T. Aus den jeweils durchschnittliche Härtewerte bezeichnenden Meßwerten kann mit Hilfe eines einfachen Algorithmus eine Härte-

profilkurve 20, welche den schichtweisen Härteverlauf wiedergibt, in folgender Weise ermittelt werden:  
Für den ersten Punkt,  $x = 1$ :

$$K_X = G_{MW1}$$

Für alle weiteren Meßpunkte:

$$K_X = (G_{MWX} - G_{MW(X-1)}) X + G_{MW(X-1)}$$

Dabei sind

$X$ : Anzahl der Meßpunkte ( $X_1 \dots X_n$ )

$K_X$ : Härtewert der Schicht zwischen ( $X_1(X-1)$ )

$G_{MWX}$ : durchschnittlicher Härtewert des Meßpunktes  $X$

$G_{MW(X-1)}$ : durchschnittlicher Härtewert des Meßpunktes ( $X-1$ ).

Eine auf diese Weise erhaltene Härteprofilkurve erlaubt in einfacher Weise eine Beurteilung des Gefügestandes der betrachteten Oberflächenschicht, insbesondere gestattet sie eine differenzierte Aussage über die qualitative Beschaffenheit der behandelten Schicht.

Bislang wurde von einer im wesentlichen nur aus einer Diffusionsschicht 17 mit über die gesamte Schicht 25 ähnlichen physikalischen Eigenschaften bestehenden Oberfläche ausgegangen. Praktisch tritt aber auch der Fall auf, daß die Oberflächenschicht ihrerseits aus mehreren Teilschichten aufgebaut ist. Ein Beispiel hierfür ist eine nicht oder nur geringfügig geschliffene nitrierte Metallschicht, wie in Fig. 4b gezeigt. Sie weist auf dem metallischen Grundwerkstoff 19 eine dickere Diffusionsschicht 17 sowie darauf eine vergleichsweise dünne Verbindungsschicht 18 auf. Beide Teilschichten 17, 18 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Dies führt besonders bei Messungen mit hohen Frequenzen, das heißt mit geringen Eindringtiefen, zu Verzerrungen des Meßergebnisses. Fig. 5 zeigt ein Beispiel für eine Härteprofilkurve, die an einer nicht geschliffenen Nitrierschicht aufgenommen wurde. Aufgetragen ist wieder die Härte nach Fischer über der Eindringtiefe in µm. Im Bereich dicht unter der physikalischen Oberfläche 16 weist der untersuchte Werkstoff eine scheinbar geringere Härte auf. Der scheinbare Härteanstieg D zwischen erstem und 45 zweitem Meßwert ist ein Maß für die Dicke der Verbindungsschicht 18, die auf diese Weise mit guter Genauigkeit bestimmbar ist.

Um sicherzustellen, daß eine scheinbar zunehmende Härte unmittelbar unterhalb der Oberfläche 16 des untersuchten Werkstoffes tatsächlich durch das Vorhandensein einer Verbindungsschicht 18 bedingt ist, empfiehlt es sich, zusätzlich Plausibilitätsbetrachtungen anzustellen, zum Beispiel in Form eines Vergleichs mit empirisch oder theoretisch ermittelten Referenzhärteprofilkurven.

Mit der Kenntnis der Verbindungsschichtdicke ist auch ihr Einfluß auf die Meßwerte bekannt. Er nimmt, weil mit zunehmender Eindringtiefe des Meßsignals das Verhältnis der Dicken von Verbindungsschicht 18 zu Diffusionsschicht 17 immer geringer wird, mit zunehmender Eindringtiefe ab. Damit ist es leicht möglich, die Meßergebnisse zu korrigieren.

Bei Werkstoffen mit behandelten Oberflächen, insbesondere bei nitrierten Metallen beeinflusst die Zusammensetzung des Grundmaterials (FE-Legierungen) das Meßsignal. Deshalb kann es zweckmäßig sein, auf eine Bezugsgröße bezogene Messungen durchzuführen. Durch Bezugsmessungen können die Einflüsse, die auf

Änderungen der Legierungselementeanteile zurückzuführen sind, vermindert werden. Solche Bezugsmessungen werden zweckmäßig mit Hilfe einer zusätzlichen Bezugsspule durchgeführt, welche die Induktivität eines nicht behandelten Grundmaterials erfaßt. Soll eine sehr hohe Prüfgenauigkeit erreicht werden, kann es zusätzlich sinnvoll sein, jeweils vor und nach der thermischen oder mechanischen Behandlung Messungen mit der Prüfspule sowie mit der Bezugsspule durchzuführen und in Beziehung zu setzen.

Für eine genauere Untersuchung größerer Oberflächen kann es ferner zweckmäßig sein, die Spulenspule 10 mit einem elektrisch leitfähigen Material teilweise abzudecken, so daß das magnetische Wechselfeld nur durch die nicht abgedeckte Zone die Prüfoberfläche erreicht. Durch Bewegen der Prüfsonde auf der Oberfläche können dann zum Beispiel Kurven gewonnen werden, die den qualitativen Verlauf der Oberflächenhärte entlang der untersuchten Oberfläche wiedergeben. Dadurch lassen sich zum Beispiel neben Abweichungen von vorgegebenen Mindesthärten auch Konturfehler wie etwa Unrundheiten, Nuten oder Risse erkennen.

Das vorgeschlagene Verfahren eignet sich besonders zur Untersuchung von Nitrierschichten auf deren Härteeigenschaften, ist aber nicht auf dies Anwendung eingeschränkt. Ebenso kann es direkt oder nach geringer Modifikation zur Untersuchung vieler anderer Materialien oder Schichten eingesetzt werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum zerstörungsfreien Untersuchen von Oberflächen elektrisch leitfähiger Werkstoffe mittels einer Prüfspule, die ein magnetisches Wechselfeld erzeugt, welchem der zu untersuchende Werkstoff ausgesetzt wird, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Einstellen einer Spulenwechselstromfrequenz, bei der die Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes in den Werkstoff (15) innerhalb einer für die zu untersuchende Oberflächenschicht (17,18) geforderten Dicke liegt,
- Messen der Induktivitätsänderung, die das sich einstellende magnetische Wechselfeld in der Spule (10) hervorruft,
- Ableiten einer Aussage über wenigstens eine Materialeigenschaft der untersuchten Oberfläche (16, 17, 18) im Bereich der Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes aus dem Meßergebnis.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenwechselstromfrequenz so eingestellt wird, daß die Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes in den Werkstoff (15) klein ist gegen eine geforderte Dicke der zu untersuchenden Oberflächenschicht (17, 18).

3. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenwechselstromfrequenz so eingestellt wird, daß die Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes in den Werkstoff (15) etwa einer geforderten Dicke der zu untersuchenden Oberflächenschicht (17,18) entspricht.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die untersuchte Materialeigenschaft die Härte der Oberfläche (16, 17, 18) ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Bestimmen der Härte durch Zuordnung des für die Induktivität erhaltenen Meß-

gebnisses zu einem vorbestimmten Härtewert erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Einstellen einer Spulenwechselstromfrequenz
- Bestimmen der sich einstellenden Spuleninduktivität
- Ableiten einer Aussage über die mittlere Härte der behandelten Oberflächenschicht (17, 18) im Bereich der Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes in den Werkstoff (15) aus dem Meßergebnis für eine eingestellte Wechselstromfrequenz
- Wiederholen der vorhergehenden Schritte für mehrere in einem Frequenzintervall liegenden Frequenzen
- Ermitteln einer Härteprofilkurve aus allen, zu den verschiedenen Wechselstromfrequenzen gewonnenen Meßwerten.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenwechselstromfrequenzen so gewählt werden, daß die zugehörigen Eindringtiefen in äquidistanten Abständen von einer kleinsten zu einer größten zunehmen.

8. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Verlauf der Härteprofilkurve eine Aussage über die Dicke der Oberflächenschicht (17, 18) abgeleitet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß aus wenigstens zwei aufeinanderfolgenden Meßergebnissen die Dicke einer Verbindungsschicht (18) ermittelt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Vorhandensein einer Verbindungsschicht durch Plausibilitätsbetrachtungen verifiziert wird.

11. Prüfsonde zum zerstörungsfreien Prüfen von Oberflächen elektrisch leitfähiger Werkstoffe, mit einem Spulenträger (11) sowie einer an dessen Spitze angeordneten Spulenspule (10), dadurch gekennzeichnet, daß die Spitze der Prüfsonde mit der Spulenspule (10) hinsichtlich ihrer Form mit der zu prüfenden Oberfläche (16) übereinstimmt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

Fig 1 \*

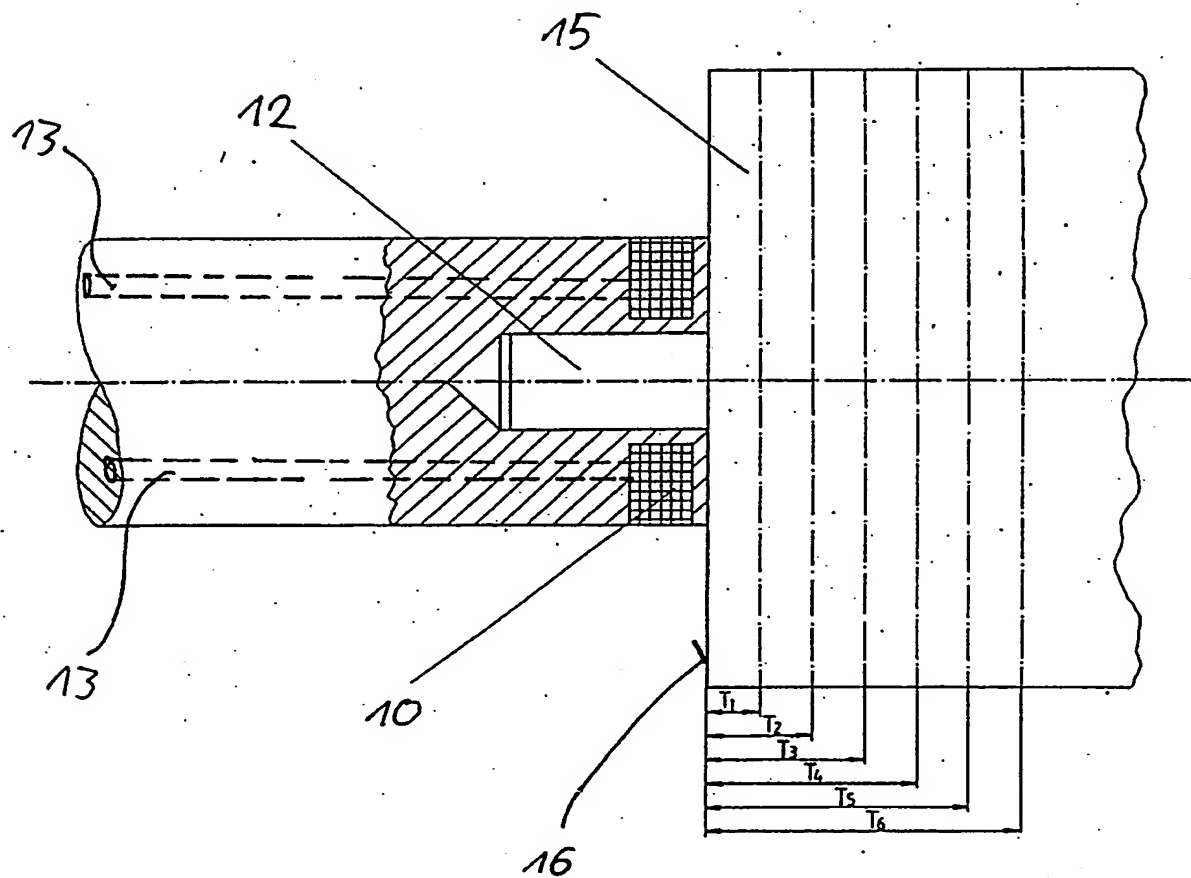


Fig 2

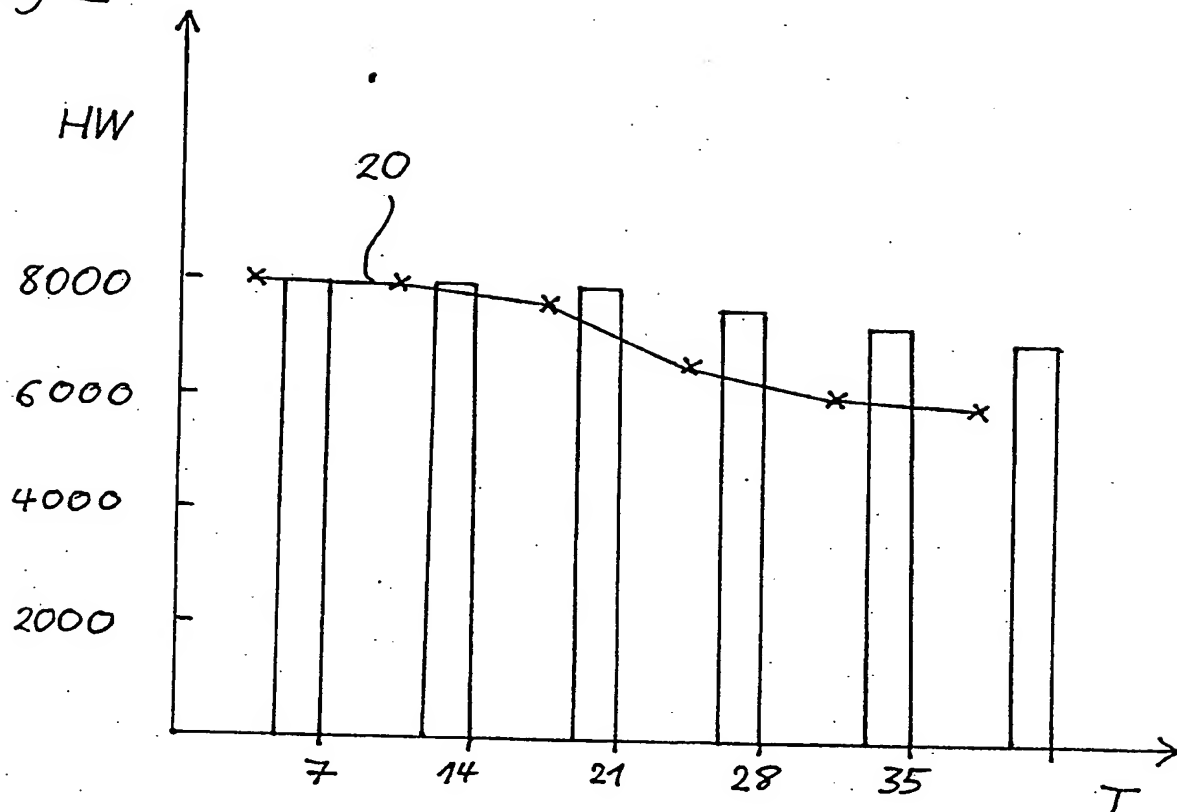


Fig 5

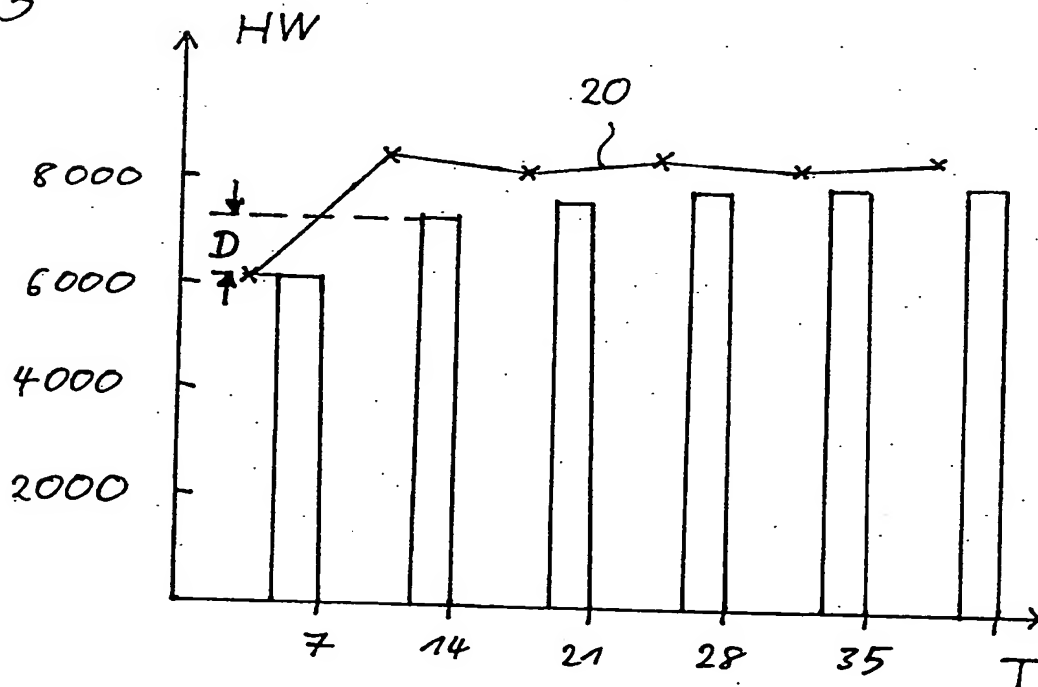


Fig 3

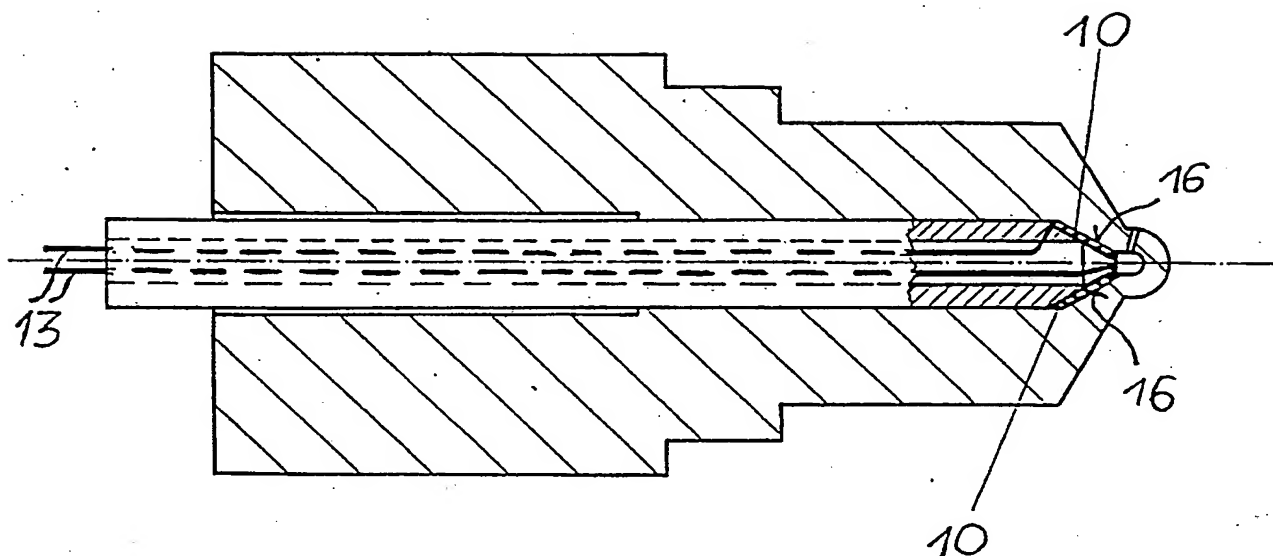


Fig 4

